

$h_2 = 14\text{мм}$; $l_z = 5\text{мм}$; $h_z = 7\text{мм}$. Аналіз наведених даних дає можливість зробити висновок, що основний пелюсток досить вузький, але на відміну від попереднього ЕМАП №1 він має незначні побічні пелюстки.

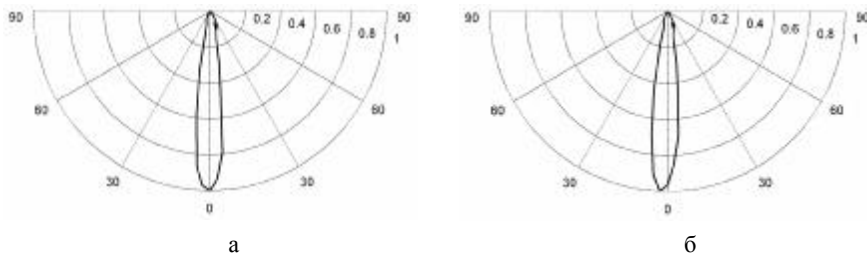


Рис. 6. Діаграми спрямованості датчика №1.

показано, що кут розкриття більший для більш широкої робочої зони ЕМАП. З першої точки зору це не відповідає відомим результатам, отриманим для традиційних п'єзоелектричних перетворювачів [7]. Проте подальший аналіз дозволив встановити, що такий результат обумовлений недостатньою відстанню між збуджуючим та прийомним ЕМА перетворювачами. При радіусі СО-3 59 мм ЕМАП приймає акустичні сигнали не в зоні Фраунгофера, а в перехідній між нею і зоною Френеля [8]. В цьому випадку випромінювач не можна сприймати як точковий.

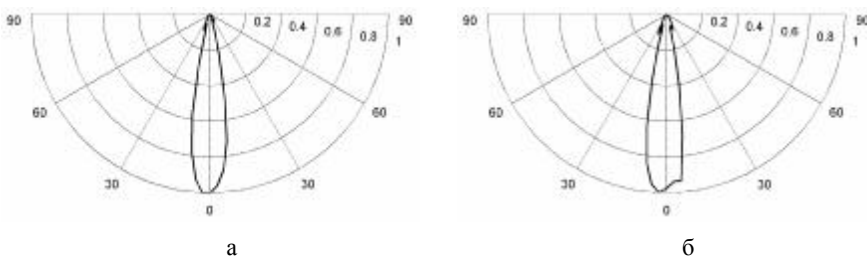


Рис. 8. Діаграми спрямованості датчика №3.

ЕМАП №3 мав найбільші розміри: $l_1 = 17\text{мм}$; $l_2 = 5,5\text{мм}$; $h_1 = 29\text{мм}$; $h_2 = 14\text{мм}$; $l_z = 5,75\text{мм}$; $h_z = 7\text{мм}$. Його основний пелюсток (рис. 8) значно ширший, ніж у попередніх перетворювачів.

Аналіз отриманих результатів показує, що розкриття діаграми спрямованості ЕМАП залежить від ширини робочої зони перетворювача. При цьому

з отриманих результатів можна зробити висновок про необхідність удосконалення моделі, яке має враховувати усі вищенаведені принципи, а саме: необхідність введення функції розподілу інтенсивності та залежності інтенсивності від кута випромінювання відносно нормалі.

Висновки. Показано, що

моделювання ЕМАП не можна спростити до рішення геометричної задачі, користуючись припущенням, що кожна нескінченно мала ділянка перетворювача випромінює сигнал рівномірно в усіх напрямках. Установлена необхідність удосконалення моделі шляхом урахування особливостей діаграми спрямованості. Проведені практичні досліди реальних ЕМАП і показано залежність кута розкриття діаграми напруженості від ширини робочої зони, кут розкриття якого більший для більш широкої робочої зони.

Список літератури: 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с. 2. Сучков Г.М. Развитие теории и практики приборов для электромагнитно-акустического контроля металлов. Автореферат диссертации на звание кандидата технических наук. – Харьков, Друкерия НТУ «ХПИ», 2005. – 37с. 3. Коткин Г.Л., Черкасский В.С. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB: Учеб. пособие / Новосиб. ун-т. Новосибирск, 2001. – 173 с. 4. Поринев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. - Горячая Линия – Телеком, – 2003. 5. Поринев С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. - Горячая Линия – Телеком, – 2003. 6. Ультразвуковой контроль материалов: Справ. Изд. Крауткремер Й., Крауткремер Г.; Пер. с нем. – М.: Металлургия, 1991. – 752 с. 7. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.Ж Машиностроение, 1981. – 240 с. 8. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия, 2-е изд. – М. Металлургия, 1985. – 256 с.

УДК 620. 179. 16: 620. 179. 17

Г.М. СУЧКОВ, проф. д-р техн. наук, НТУ «ХПИ»
Л.В. ГЛЄБОВА, магістрант, НТУ «ХПИ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЗБУДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ ІМПУЛЬСІВ ЄМНІСНИМ МЕТОДОМ

Приведены результаты экспериментальных исследований преобразователей ёмкостного типа для возбуждения ультразвуковых импульсов. Показана возможность возбуждения акустических импульсов с чувствительностью, достаточной для выполнения неразрушающего контроля и измерений.

The results of an experimental research of capacity transformers for excitation of ultrasonic impulses are presented. The possibility of acoustic impulses excitation with sensitiveness sufficient for implementation of non-destructive control and measuring is shown.

Вступ. Підвищення вимог до якості промислової продукції зумовило інтенсивний розвиток засобів ультразвукового контролю матеріалів і виробів [1]. Їх основу складають прилади, що реалізують контактний метод

ультразвукового контролю [2]. Значний досвід практичного використання цього методу дозволив встановити області, в яких він не є ефективним [3]. Це ультразвуковий контроль виробів із забрудненою поверхнею, уражених корозією, або з покриттями (фарба, полімерні плівки і інші ізоляційні покриття), дефектоскопія гарячих і холодних виробів, високошвидкісний контроль, контроль з низькими експлуатаційними витратами та ін. Заповнити існуючу нішу можливо за рахунок приладів, які не потребують використання для своєї роботи контактної рідини [2]. Перспективними серед таких приладів можуть бути засоби, створені на основі конденсаторного способу (КС) збудження і прийому ультразвукових коливань [2]. КС зародився на стику декількох наукових напрямків, що мають різне фізичне ество. Тому для його опису потрібне використання апаратів електродинаміки і термодинаміки, теорії пружності, акустики, матеріалознавства. Потенціальна перспективність ємнісних перетворювачів (ЄП) при використанні для дефектоскопії, товщинометрії, визначення фізико-механічних властивостей матеріалів, вимірювань різного призначення, з однієї сторони, та недостатня чутливість, з другої, призвели до появи важливої для промисловості наукової задачі. Її суть полягає в розвитку теорії і практики створення нових приладів на основі ЄП, які забезпечать виявлення дефектів, вимірювання товщини і визначення структурних параметрів електропровідних виробів широкого асортаменту. Багатогранність і обсяг необхідних наукових і технічних рішень створили значні труднощі при розробці приладів на основі КС, основною з яких є надзвичайно мала чутливість. Отже, вирішення задачі з використання КС для цілей неруйнівного контролю є актуальним і своєчасним.

Основна частина. Акустичні коливання можливо приймати з металу за рахунок появи змінної електричної напруги на конденсаторному перетворювачі при зміні відстані між його обкладками, одна із яких – об'єкт контролю (ОК). Згідно з даними роботи [2] чутливість збуджувача ємнісного перетворювача (ЄП) в 30000 разів менше ніж п'єзоелектричного перетворювача (ПЕП). Для перевірки цих даних створено макет для досліджень ємнісного способу, рис. 1. Експериментальна перевірка теоретичних розрахунків виконана з допомогою 2-х ПЕП і збуджувача ЄП на зразку з алюмінію діаметром 30 мм висотою 90 мм. ЄП мав діаметр 26 мм виготовлений з електропровідної плівки товщиною 30 мкм. Ізолююча прокладка ЄП – 0,2 мм з лавсанової плівки. Режим вимірювання – тіньовий з використанням атенюатора серійного дефектоскопа УД2-12. Тіньовий сигнал двох ПЕП склав 44 дБ. Тоді як сигнал прийнятий ПЕП від ЄП – 24 дБ. Аналіз отриманих експериментальних досліджень показує, що чутливість ЄП менше ніж стандартного ПЕП, з урахуванням завад акустичного характеру в 4 рази. Ці дані говорять про те, що відомі результати не в повній мірі відображають фізичну суть процесів перетворення акустичних полів в електричні. Тому для використання КС в неруйнівному ультразвуковому контролі слід виконати дослідження і знайти наукові і технічні рішення направлені, в першу чергу, на підвищення чутливості конденсаторного способу збудження ультразвукових імпульсів.

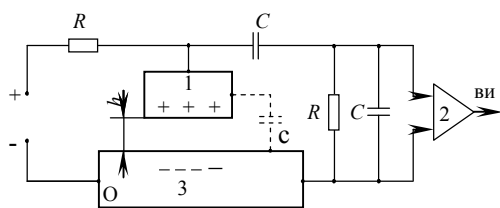


Рис. 1. Макет для оцінки коефіцієнту перетворення при конденсаторному збудженні акустичних коливань в ОК:
1 – робоча обкладка (електрод) ЄП;
2 – підсилювач;
3 – ОК (друга обкладка ЄП);

Для знаходження шляхів підвищення коефіцієнта перетворення використаємо відому формулу для ємності конденсатора. Вона залежить від відстані до ОК, діелектричної проникності прошарку між електродами і металом, площі електродів. Окрім того, очевидно, що коефіцієнт перетворення акустичної енергії в електричну буде залежати від величини постійної напруги, прикладеної до ЄП. З погляду максимального коефіцієнта передачі, бажано мати максимальну ємність C_0 ЄП. Однак збільшення ємності за рахунок зменшення прошарку h вимагає зниження поляризуючої напруги U_* . Окрім того, при проведенні неруйнівного контролю прошарок між електродами та виробом повинен бути більше кількох десятків часток міліметра. Збільшувати площу ЄП більше 20...30 мм не доцільно з точки зору забезпечення технології контролю [2]. Тому наявність цих двох суперечливих умов приводить до того, що оптимальний діаметр

обкладки ЄП повинен бути не більше 25 – 30 мм.

Іншим шляхом підвищення чутливості ЄП є використання проміжних шарів матеріалу з високим значенням величини відносної діелектричної про проникності. Такий висновок підтверджується експериментальними даними, отриманими при дослідженні матеріалів з різною діелектричною проникністю, табл. 1.

Таблиця 1- Залежність величини А співвідношення амплітуд ультразвукового імпульсу і завад при збудженні ЄП та прийомі ПЕП, на частоті 2,5 МГц, $h = 1$ мм

Матеріал прошарку ЄП	Повітря	Лавсан	Папір (80 г/м ²)	Спечений двоокис алюмінію	Гетинакс
А, дБ,	14	20	28	31	39

Очевидно, що вибір матеріалу прошарку має принципове значення. Амплітуду корисного сигналу можливо підвищити в багато разів. При цьому проміжний матеріал повинен грати роль захисної плівки, оскільки ЄП може бути пошкоджений під час сканування поверхні виробу, який контролюється. Тому при проведенні експериментів була використана лавсанова плівка товщиною 0,2 мм, яка одночасно грає роль стійкого до зносу прошарку. Однак, під час експериментальних досліджень встановлено, що чутливість таких ЄП істотно змінюється у часі, рис. 2 (поляризуюча напруга 900 В, прошарок між електродами і виробом – лавсанова плівка товщиною 0,2 мм, $\epsilon = 3,2$ [5]).

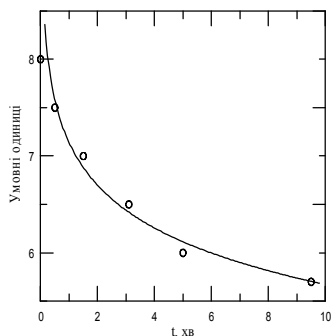


Рис. 2. Залежність збудженого ЄП сигналу від часу вимірювання (прошарок лавсанова плівка товщиною 0,2 мм)



Рис.3. Форма поляризуючих імпульсів (а) та високочастотних імпульсів збудження (б) ефективного ЄП: T – період зондування ОК;

(міграційна поляризація), який створює зворотне електричне поле в діелектричному прошарку (наприклад, лавсановій плівці), що не дозволяє проводити довгостроковий неруйнівний контроль. Аналогічні результати отримуємо при використанні фторопластових плівок, слюди, скла та інших матеріалів. Різні заходи щодо попередньої підготовки діелектричних прошарків із різних матеріалів не усувають нестабільність ЄП. Для виключення відзначеного недоліку і збереження підвищеної чутливості ЄП за рахунок використання захисних прошарків із матеріалів з високою діелектричною проникністю, запропоновано постійне поляризуюче поле замінити на імпульсне – зі зміною полярності кожного наступного поляризуючого імпульсу, рис 3.

Результати експериментальної перевірки підтвердили, що при переключенні полярності поляризуючих імпульсів, амплітуда прийнятих інформаційних сигналів залишається стабільною. При цьому, амплітуда сигналів на алюмінієвих зразках в відношенні до завод складає не менше 100 разів. Це достатня величина для проведення ультразвукової дефектоскопії і товщинометрії.

Окрім того, короткі (близько кількох сотень мікросекунд і частоті посилення (зондування виробу) таких імпульсів не більше 100 разів на секунду) імпульси високої напруги не мають такої небезпечної дії на обслуговуючий персонал, як постійна напруга. З точки зору техніки безпеки це значна перевага.

Важливою перевагою такого способу живлення ЄП є також те, що короткі поляризуючі імпульси по амплітуді можуть перевищувати постійну поляризуючу напругу без пробою захисної діелектричної плівки. Це дає можливість підвищити чутливість ЄП за рахунок її збільшення.

Оскільки для прийнятих діелектричних плівок напруга пробою складає близько 30 В/мм, то елементарні розрахунки показують, що чутливість ЄП буде дорівнювати $\approx 10^8$ В/м. Ця величина відрізняється від аналогічної для ПЕП на суттєво меншу величину, ніж визначену в [2], що говорить про необхідність виконання подальших досліджень, в тому числі теоретичних.

Для визначення впливу факторів, що визначають результати ультразвукового контролю ємнісним способом було розроблено стенд для досліджень ЄП в режимі збудження, рис. 4. Стенд за рис.4 дозволяє виконувати

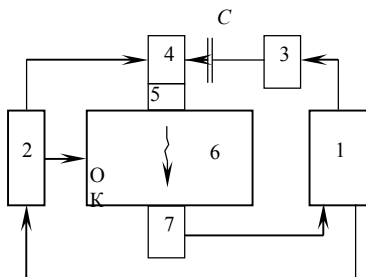


Рис. 4. Стенд для досліджень ЄП в режимі збудження акустичних імпульсів

дослідження так. Серійний ультразвуковий дефектоскоп 1 (УД2-12) синхронізує роботу генератора 2 поляризуючої напруги з послідовною зміною полярності імпульсів (див. рис. 4) і генератора 3 високочастотних імпульсів. Імпульси генераторів 2 і 3 живлять ЄП 4 з діелектричною захисною плівкою 5. Перетворювач 4 збуджує в об'єкті контролю 6 акустичні імпульси. З протилежної сторони ОК 6 акустичні імпульси приймаються ПЕП 7 і поступають на дефектоскоп 1. Характеристики прийнятих сигналів оцінювали з допомогою атенюатора, цифрового індикатора і шкал електронно-променевої трубки дефектоскопа 1.

Дослідження впливу зазору h на амплітуду збуджених ультразвукових імпульсів, які приймалися ПЕП, при комбінованому зазорі з повітря ($\approx 6 \times 5$ мкм) і лавсанової плівки ($5 \times 0,2$ мм), зображено на рис. 5.

При цьому відношення повітряного зазору і діелектричного прошарку повинно бути на користь діелектричної плівки. Це підтверджується експериментальними результатами (див. табл. 1).

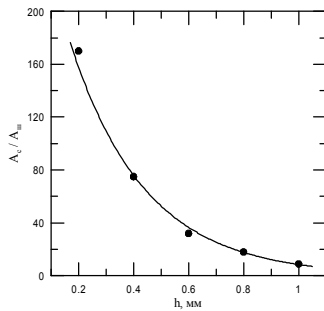


Рис. 5. Вплив величини лавсанового прошарку між збуджуючим ЄП і виробом на зміну амплітуди інформаційного імпульсу, прийнятого ПЕП

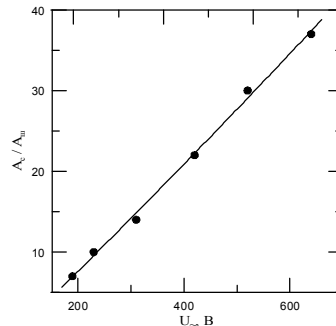


Рис. 6. Вплив величини змінної напруги на амплітуду збуджених ультразвукових імпульсів.

Аналіз отриманих результатів показує, що при реальному контролі необхідно мінімізувати коливання повітряного прошарку між ЄП і виробом.

На рис. 6 приведено результати впливу поляризуючої напруги на амплітуду збуджених ультразвукових імпульсів (частота 2,5 МГц.).

Таким чином, для підвищення коефіцієнту перетворення ЄП, поляризуючу напругу необхідно збільшувати. Як видно з приведених результатів її величина може досягати 1000 В і більше, особливо при імпульсному живленні різнополярними імпульсами. Окрім того, можна зробити

висновок про можливість впливу на інформаційний імпульс безпосередньо під час проведення ультразвукового контролю. Механічне сканування виробу при ручному контролі виконується з набагато меншою швидкістю, ніж електронне регулювання величини поляризуючої напруги. Тому вплив шкідливих факторів, наприклад випадкової зміни технологічного повітряного зазору, можна повністю компенсувати за рахунок зміни величини поляризуючої напруги.

Особливе значення для отримання прийнятної величини збуджених ультразвукових імпульсів має величина відносної діелектричної проникності захисної плівки ЄП. Дані, приведені в табл. 1, показують, що вплив різних матеріалів на корисний сигнал різний. Було додатково проведено вимірювання ємності ЄП з однаковими параметрами обкладинок для кожного діелектричного матеріалу прошарку з однаковою товщиною. З допомогою відомої формули для ємності плоского конденсатора отримаємо (товщина прошарку матеріалу h_i і повітря h_p відрізняється)

$$\frac{C_i h_i}{C_p h_p} = \varepsilon_i \quad (1)$$

де C_i і C_p – ємності ЄП для вибраного діелектричного прошарку і повітря відповідно; ε_i і ε_p – значення відносної діелектричної проникності діелектричного прошарку і повітря відповідно ($\varepsilon_p = 1$).

Таким чином можливо оцінити вплив діелектричної проникності на амплітуду корисних сигналів, тобто його посилення. Залежність амплітуди збуджених інформаційних імпульсів від відносної діелектричної проникності захисної плівки ЄП приведено на рис. 7. Лінія тренду на графіку виконана з використанням програмного забезпечення типу Excel та Grapher.

Аналіз приведених даних показує, що збільшення відносної діелектричної проникності захисної підсилюючої плівки ЄП веде до збільшення амплітуди інформаційних імпульсів за законом, близьким до лінійного. Але слід відзначити, що одночасно захисна плівка повинна бути суттєво зносостійкою.

Таблиця 2 - Діелектричні проникності матеріалів, величини яких розраховані за формулою (1)

Матеріал прошарку ЄП	Повітря	Лавсан	Папір (80 г/м ²)	Спечений двоокис алюмінію	Гетинакс
ε	1	2,5	2,7	5,7	6,4

акі суперечливі умови вимагають пошуків матеріалів для захисної плівки перетворювача. Одним з прийнятних варіантів може бути плівка зі спеченого двоокису алюмінію, який має доволі значну величину відносної діелектричної проникності – до 7,6 [5] і дуже високу зносостійкість. Проте промисловість випускає такі плівки товщиною 1 мм і більше, що знижує ефективність ємнісного перетворювача. При контролі виробів з гладкою поверхнею можливе використання захисного прошарку з менш стійкого матеріалу, наприклад з гетинаксу (див. табл. 1). Враховуючи незначну вартість такої плівки, її можливо замінювати частіше без зниження характеристик перетворювача. З викладеного випливає необхідність проведення більш широких досліджень матеріалів з можливістю їх використання в якості стійкого захисного прошарку ЄП при одночасній високій чутливості.

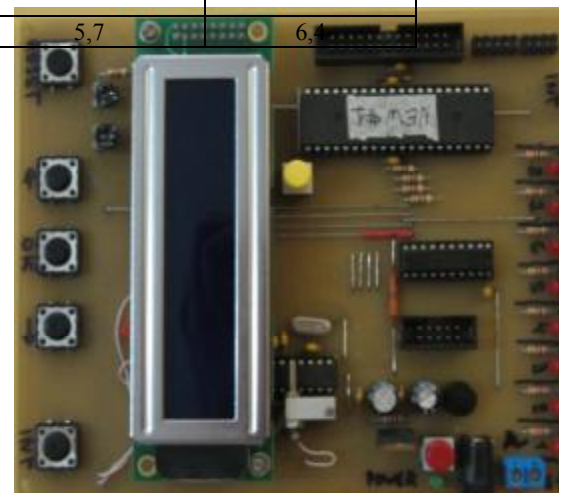


Рис. 8. Формувач синхронізуючого, поляризуючого височастотних і керуючих імпульсів на базі мікропроцесора ATMEGA 32 для пипіпалів



Рис. 9. Фото реалізацій з сигналами, отриманими з алюмінієвого зразка на частоті 2,5 МГц при збудженні ЄП та прийомі ПЕП

Виконані дослідження стали основою для розробки елементів пристрою для ефективного збудження ультразвукових імпульсів мегагерцового діапазону, який широко використовується для дефектоскопії і товщинометрії.

Для вирішення визначених задач необхідно розробити блоки і вузли дефектоскопів, товщиномірів і приладів для визначення фізико-механічних характеристик матеріалів. Перша з них – розробка джерела живлення ЄП поляризованими імпульсами з послідовною зміною їх полярності (див. рис. 3). Дослідження показали, що її слід вирішувати в два етапи. Перший – розробка формувача необхідних для роботи приладу імпульсів: синхронізуючого, поляризованих і високочастотних. Такий формувач розроблено на базі мікропроцесора ATMEGA 32 [4], рис. 8.

Для забезпечення високої напруги поляризованих імпульсів розроблено макет на базі польових транзисторів типу IRF 540 які дозволили отримати регульовану величину напруги на рівні 1000 В. Використання пристрою дало можливість експериментально підтвердити, що ємнісний метод за своїми характеристиками, в першу чергу за чутливістю при збудженні, може бути використаний при створенні

приладів для ультразвукового контролю, рис. 9 (зразок з алюмінію, частота ультразвукових коливань – 2,5 МГц). Як випливає з приведених реалізацій, відношення амплітуд збудження імпульсу і завад різного характеру є достатнім для використання для неруйнівного контролю.

Висновки: 1. Розроблені концептуальні положення створення нового класу ефективних приладів для ультразвукового контролю виробів з використанням конденсаторного способу збудження акустичних сигналів. Суть положень полягає у формуванні поляризованої напруги в вигляді імпульсів заданої часової протяжності зі зміною їх полярності. 2. Порівняльний аналіз характеристик ємнісного датчика з п'єзоелектричним приймачем дозволяють стверджувати, що ємнісний перетворювач є унікальним датчиком, для якого є своя ніша в об'ємі робіт з неруйнівного контролю металовиробів.

3. Досліджено фактори, які визначають ефективність конденсаторних приладів неруйнівного контролю при збудженні акустичних імпульсів. Показано необхідність витримувати стабільну товщину прошарку між ЄП і виробом, величину поляризованої напруги і відносної діелектричної проникності захисної (підсилюючої) плівки перетворювача.

Список литературы: 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. 864 с. 2. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. 240 с. 3. Сучков Г.М., Глоба С.Н., Глебова Л.В. Возможность приема ультразвуковых импульсов преобразователями емкостного типа. – Вісник Нац. техн. ун-ту «Харківський політехнічний інститут». - Харків: НТУ «ХПІ», 2007, № 35, – С. 29–32. 4. Анотації доповідей XVI міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія освіти, здоров'я"-ЧІІ- Харків: НТУ "ХПІ". - 2008. – С.433.

УДК 620.179.14

ГЛОБА С.Н., канд. техн. наук, доцент, НТУ "ХПІ" (г. Харків);
ДРОБИТЬКО А.И., магістр, НТУ "ХПІ" (г. Харків)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ СЛАБОМАГНИТНОГО ПЛОСКОГО ОБРАЗЦА

У роботі розглянуто методику і проведено відновлення квазістатичної кривої намагнічення слабомагнітного плоского зразка для загального випадку ($k \neq \text{const}$). Отримані основні співвідношення для розрахунку магнітного потоку, його фази, експериментальної та квазістатичної намагніченостей, методичної похибки.

The method of renewal in the quasistatistical curve of magnetizing of weak-magnetic flat sample in work considered and conducted for a general case ($k \neq \text{const}$). Basic correlations are got for the calculation of magnetic stream, his phase, experimental and quasistatistical of magnetizing, methodical error.

В качестве материалов применяемых при изготовлении элементов и узлов промышленных объектов широко используются наряду с ферромагнитными и слабомагнитные материалы (нержавеющая сталь, латунь и др.), которые представляет практический интерес в различных отраслях промышленности.

Известно, что магнитный контроль шихтованных и сплошных изделий и образцов рекомендуется проводить на постоянном токе [1, 2], но при этом требуется коммутация намагничивающего тока в питающей цепи преобразователя при контроле каждой точки кривой намагничивания либо петли гистерезиса, все это достаточно трудоемко, неудобно в эксплуатации, а, следовательно, затруднено в автоматизации процесса контроля магнитных характеристик и параметров. Контроль ферро- и слабомагнитных изделий и образцов целесообразно проводить в переменных магнитных полях, что позволяет автоматизировать процесс контроля. Исследуемые материалы используются в цепях переменного тока (в частности, в устройствах энергетического оборудования: трансформаторах, электродвигателях, реле, электромагнитах и др.), поэтому необходим контроль динамических магнитных характеристик и параметров. Но переменное магнитное поле затухает в сечении образца и приводит к неоднородному распределению напряженности и индукции внутри изделия, а также нелинейности магнитных характеристик.

Таким образом, если установить критерий слабого затухания магнитного поля в сечении образца и использовать методику восстановления квазістатических магнитных характеристик плоских слабомагнитных образцов по результатам контроля динамических характеристик тех же образцов, то можно связать контроль